

УДК 539.3

О. Шаблій , докт.фіз.-мат.наук; Н. Гащин, канд.техн.наук

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ІНЖЕНЕРНИЙ ВАРІАНТ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО НАГРІВАННЯ КРУГЛИХ ДИСКІВ

Побудовано інженерний розв'язок задачі про знаходження оптимальної потужності джерел тепла та відповідної температури, необхідної для термічної посадки диска на круглий вал.

O. Shabliy; N. Hashchyn

ENGINEERING VARIANTS OF INVESTIGATING THE OPTIMUM HEATING OF ROUND DISK

The engineering decision of revealing the optimum power and temperature necessary to fit a disc on a round shaft.

Одним із перспективних напрямків у процесі складання машин і механізмів є використання з'єднань із натягом. Тепловий метод формування таких з'єднань має ряд переваг у порівнянні з пресовим: виключає можливість пошкодження спряжених поверхонь при складанні, забезпечує високу міцність з'єднання, дає можливість автоматизації процесу складання, допускає можливість розбирання без пошкодження спряжених поверхонь. Саме таким методом насаджують деталі типу кільцевих дисків на вали або осі (колісні пари рухомого складу, опорні підшипники, зубчаті колеса, турбінні колеса).

Використовуючи методи оптимального управління і теорію в'язкопружних тіл, розроблено алгоритм оптимального управління термопосадкою дисків, визначено напружено-деформований стан диска в процесі посадки [1-4]. В статті [3] проведено дослідження і одержано оптимальний розподіл як по координатах, так і в часі потужності теплових джерел W , дія яких за заданий час забезпечує необхідне переміщення внутрішнього контура в'язкопружного диска з метою посадки його на круглий вал. Задача розв'язана при умові, що для нагрівання затрачається мінімальна кількість енергії. Отримано аналітичний розв'язок, який детально проаналізовано. Аналітичний вираз питомої потужності W [3], яка забезпечує оптимальний режим термообробки диска, має такий вигляд:

$$W = - \frac{\alpha_T a \psi(R_1, \tau) u_+(\tau - t)}{2\lambda_g} \sum_{\nu=1}^{\infty} \frac{J_3}{J_1} [NJ_0(n_\nu r) + Y_0(n_\nu r)] \times \\ \times (e^{At} W_1 + e^{\tau_n^{-1}t} W_2 + e^{a\lambda_g^2 t} W_3 + e^{At}(t - \tau) W_4). \quad (1)$$

Температурне поле при цьому визначається за такою формулою:

$$T = - \frac{\alpha_T a^2 \psi(R_1, \tau)}{2\lambda_g^2} \sum_{\mu=1}^{\infty} \sum_{\nu=1}^{\infty} \frac{J_3}{J_1} [MJ_0(l_\mu r) + Y_0(l_\mu r)] \times \quad (2)$$

$$\times \left(e^{At} T_1 + e^{\tau_n^{-1} t} T_2 + e^{a\lambda_g^2 t} T_3 - e^{-a\lambda_\mu^2 t} T_4 + e^{At} (t - \tau) T_5 \right),$$

де α_T - коефіцієнт лінійного розширення матеріалу; α - коефіцієнт тепловіддачі на поверхнях диска; $\lambda_g = c \rho a$, c, ρ - питома теплоємність і густина матеріалу диска; a - коефіцієнт температуропроводності; $\psi(R_1, \tau)$ - множник Лагранжа; $u_+(\tau - t)$ - несиметрична одинична функція; τ_n - час релаксації напружень; τ - час термообробки; $W_1, W_2, W_3, W_4, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, J_3, J_1$ - коефіцієнти, які визначаються через фізичні параметри матеріалу і геометричні розміри диска; $J_0(x), Y_0(x)$ - функції Бесселя відповідно першого і другого роду нульового порядку. Інші коефіцієнти більш детально описані в роботі [3].

Аналіз числових результатів, які наведені на графіках рис.1 і рис.2 із [3] показує, що зміна потужності і температури по радіусу для металевих матеріалів незначна і з достатньою для практики точністю може бути апроксимована постійними значеннями. Тому доцільним є створення інженерної методики розрахунку оптимальних параметрів процесу нагрівання на основі спрощеної математичної моделі, в основу якої покладено постійний по радіусу розподіл температури і питомої потужності теплових джерел.

У цьому випадку рівняння теплопровідності набуде вигляду

$$-m^2 T + \frac{W}{\lambda_g} - \frac{1}{a} T = 0. \quad (3)$$

Внаслідок цього одержимо рівняння балансу потужності у вигляді:

$$2c\rho Sh \frac{dT}{dt} + 2\alpha ST = W_0 e^{a\lambda^2 t}, \quad (4)$$

в якому $2S$ - площа бокових поверхонь диска; $2h$ товщина диска; W_0 - постійна, яка дорівнює потужності в початковий момент часу. Перший доданок рівняння (4) описує потужність, яка необхідна для нагрівання диска як масивного тіла, другий визначає потужність, яка втрачається на випромінювання з його поверхні, у правій частині записана потужність зовнішнього джерела теплової енергії.

Розв'язок диференціального рівняння (4) з врахуванням початкової умови $T(t=0) = 0$ має вигляд:

$$T = \frac{W_0}{2S\alpha} sh(a\lambda^2 t). \quad (5)$$

Кінцева температура, при якій одержимо необхідне переміщення u_0 при $t = \tau$, може бути прийнята з [5] такою

$$T_\tau = \frac{u_0}{R_1 \alpha_T}. \quad (6)$$

Підставляючи необхідне значення температури (6) в (5) при $t = \tau$, одержимо розрахункове значення початкової потужності

$$W_0 = \frac{2u_0 S \alpha}{R_1 \alpha_T sh\left(\frac{\alpha \tau}{c \rho h}\right)}. \quad (7)$$

Тоді формули для знаходження потужності і температури в довільний момент часу будуть відповідно такі:

$$W = \frac{2u_0 S \alpha}{R_1 \alpha_T sh\left(\frac{\alpha \tau}{c \rho h}\right)} e^{\frac{\alpha}{c \rho h} t}; \quad (8)$$

$$T = \frac{u_0}{R_1 \alpha_T \operatorname{sh}\left(\frac{\alpha \tau}{c \rho h}\right)} \operatorname{sh}\left(\frac{\alpha}{c \rho h} t\right). \quad (9)$$

Останні формули визначають потужність і температуру, які необхідні для створення на внутрішньому контурі диска заданого натягу $2u_0$. Вони можуть бути рекомендовані для інженерного розрахунку технологічного процесу нагрівання кільцевого диска з метою створення відповідного натягу при мінімальних енергетичних затратах.

Результати обчислень за формулами (8) і (9), що відповідають методиці інженерного розрахунку, з достатньою для практики точністю співпадають з величинами потужності та температури, обчисленими за формулами (1) і (2) при умові теплоізоляції торцевих поверхонь.

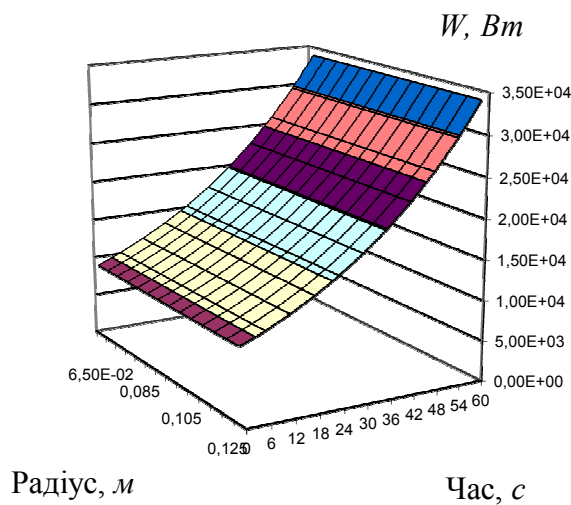


Рисунок 1 - Розподіл оптимальної потужності в часі та по радіусу.

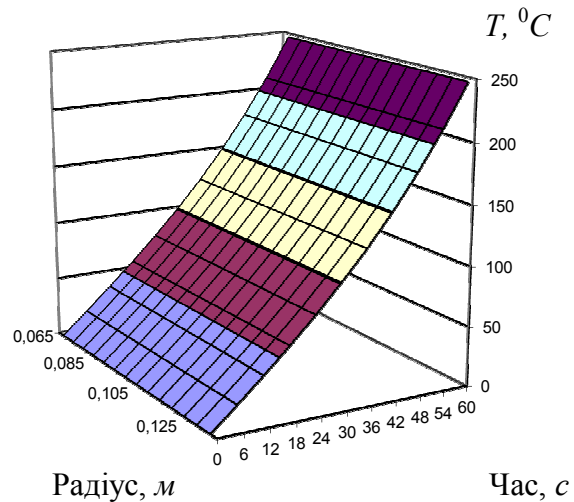


Рисунок 2 - Розподіл температури в часі та по радіусу.

На рис. 1 і 2 зображено графічні результати процесу оптимального нагрівання, обчислені за формулами інженерної методики (8) і (9). Якісний та кількісний характер часових змін відповідає аналогічним графікам рис. 1,2 із [3]. Менші числові значення потужності пояснюються теплоізоляцією торцевих поверхонь.

Побудований інженерний розв'язок задачі про знаходження оптимальної потужності та температури, необхідної для посадки диска на круглий вал, достатньо точно описує процес термопосадки диска з металічного матеріалу, в якому для збільшення точності виконання технології торці термоізовані.

Література

1. Гашин Н.Б. Нагрів кільцевих дисків змінною в часі потужністю // Вісник ТДТУ. -1997. -Том 2. -№ 2. - С. 198-201.
2. Шаблій О.М., Гашин Н.Б. Постановка задачі та розв'язуючі рівняння для створення необхідного поля переміщень у в'язко-пружних дисках при мінімальних енергетичних затратах // Вісник ТДТУ.- 2001. -Том 6.- № 1. - С. 5-11.
3. Шаблій О.М., Гашин Н.Б. Оптимізація посадки кільцевого диска на круглий вал // Вісник ТДТУ.- 2001. -Том 6. -№ 2. - С. 5-11.
4. Шаблій О.М., Гашин Н.Б. Посадка кільцевого диска на круглий вал з використанням теплових джерел сталої питомої потужності.- Львів: Машинознавство.- 2001. - № 8. - С. 6-9.
5. Новиков.М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов.- М.:Машиностроение, 1969.-630 с.

Одержано 12.06.2006 р.